



Forschung hautnah:

Wissenschaftliches Schülerpraktikum vergeben durch den Förderverein der BiologieOlympiade e.V.

Zoologisches Institut – Funktionelle Morphologie und
Biomechanik
Kiel

AG Prof. Dr. rer. Nat. Stanislav N. Gorb
Betreuer: Dr. Thies Büscher

Vergleich der unterschiedlichen Morphologie
des Tarsus bei Stabschrecken

Tom-Niclas Brune
Klasse 12
Carl-Friedrich-Gauss Gymnasium Frankfurt (Oder)

Zeitraum: 24.07.2023-11.08.2023

Inhaltverzeichnis:

I.	Einleitung	
	I.I. Persönliche Vorstellung und Vorstellung des Praktikumsortes	3
	I.II. Vorstellung meines Forschungsthemas	4-5
II.	Projektinformationen	5-7
III.	Material und Methoden	7-8
IV.	Versuchsergebnisse	8-12
V.	Diskussion	13-16
VI.	Fazit/Rückblick	17
VII.	Literaturverzeichnis	18
VIII.	Anhang	19-24

I. Einleitung:

I.I. Persönliche Vorstellung und Vorstellung des Praktikumsortes

Liebe Leser und Leserinnen,

mein Name ist Tom-Niclas Brune und ich hege eine leidenschaftliche Begeisterung für die wunderbare Welt der Biologie. Ich wohne im schönen Brandenburg, genauer gesagt in Frankfurt Oder. Meine Stadt und ihre Umgebung ist für ihre zahlreichen Seen bekannt, darunter ist zum Beispiel der malerische Helene-See. Schon seit meiner Kindheit verschlug es mich in meiner Freizeit in die Natur und zum Helene-See, was dazu führte, dass ich mich frühzeitig mit der Biologie beschäftigte.

Ich bin Schüler des Carl-Friedrich-Gauss-Gymnasiums in Frankfurt Oder. Dies ist eine Spezialschule. Meine Schule ist eine MINT-Schule und hat sich deswegen auf die Fächer: Mathe, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) spezialisiert. Am Gauss wurde meine Faszination für die Biologie weiter verstärkt. Des Weiteren hatte ich das Glück, in einer Leistungs- und Begabten-Klasse zu lernen, was es mir ermöglichte, ab der fünften Klasse auf einem Gymnasium zu sein. Dies ist ungewöhnlich für mein Bundesland.

Ich habe in meiner Schulzeit an zahlreichen Wettbewerben teilgenommen. Dabei habe ich erkannt, dass mir die Naturwissenschaften besonders lagen. Vor allem in den Fächern: Mathematik, Physik, Chemie und natürlich der Biologie erzielte ich bemerkenswerte Erfolge. Ich wählte diese Fächer auch als meine Leistungskurse (Chemie, Mathe und Biologie), um mich in ihnen noch mehr zu verbessern.

Außerdem nahm ich an der Internationalen Biologie Olympiade (IBO) teil, die mir die wunderbare Möglichkeit eröffnete, an einem Forschungspraktikum teilzunehmen. Diese Chance habe ich mit Freude ergriffen.

Mein Praktikum fand am Zoologischen Institut für funktionelle Morphologie und Biomechanik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel statt. Genauer gesagt, war ich Teil der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. rer. Nat. Stanislav N. Gorb. In dieser renommierten Gruppe liegt der Forschungsschwerpunkt auf der funktionellen Morphologie und Biomechanik bei Insekten und Wirbeltieren. Ich erhielt Einblicke in viele spannende laufende Projekte und hatte die Gelegenheit, mich mit den engagierten Forschern und Forscherinnen auszutauschen. Des Weiteren habe ich ein eigenes Forschungsprojekt durchgeführt, welches ich in diesem Bericht näher vorstellen möchte.

I.1.: Zoologisches Institut:



Abb. I.1.: Zoologisches Institut (mein Arbeitsplatz 10.Etage)

I.II. Vorstellung meines Forschungsthemas:

In meinem Forschungspraktikum schaue ich mir die Morphologie des Tarsus bei Stabschrecken genauer an. Meine Forschung beschränkt sich auf zwei Arten: *Orthomeria kangi* und *Malacomorpha cyllarus*.

Die Morphologie der Tarsen ist sehr interessant. Sie besitzen spezifische Haftungsorgane. Zum einen verfügen die Stabschrecken über zwei Krallen pro Fuß und zum anderen über sogenannte Haftpolster. Um diese Haftungsorgane genauer zu untersuchen, habe ich es mir zur Aufgabe gemacht, zu erforschen, wie sich das

Haftungsvermögen, bei unterschiedlichen Rauheiten einer Oberfläche ändert und wie ich diese Beobachtungen erklären kann. Meine zu untersuchende Forschungsfrage lautet somit: Inwiefern beeinflusst die Rauheit einer Oberfläche das Haftungsvermögen von Stabschrecken? Um diese Frage zu klären, greife ich auf unterschiedliche Methoden zurück, um den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion der Haftorgane zu verstehen. Ich untersuche die Krallen der beiden Arten unter dem Rasterelektronenmikroskop, um die unterschiedlichen Phänotypen der Krallen zu erkunden. Des Weiteren greife ich auf 3D-Messmikroskopie zurück, damit ich die Krallen auszumessen kann. Weiterhin führe ich Haftungsexperimente mit lebenden Stabschrecken der Art *Malacomorpha cyllarus* durch, um meine Forschungsfrage beantworten zu können. Mein theoretisches Wissen erlange ich aus Vorlesungen zu dem Modul „Biologie der Insekten“ von Dr. Thies Büscher und Anika Preuss.

Als Ergebnis zeigte sich, dass es einen Zusammenhang zwischen Haftungskraft und Rauheit der Oberfläche gibt. Der Zusammenhang wird durch eine glockenförmige Funktion beschrieben, sodass auch bei steigender Rauheit die Haftungskraft unter bestimmten Bedingungen abnehmen kann. Die maximale Haftungskraft wird durch ein Zusammenspiel von Haftpolstern und Krallen erreicht.

Die Ergebnisse dieses Projektes informieren über die Biomechanik der Krallen von Stabschrecken und ermöglichen eine Grundlage für eine bionische Nutzung.

II. Projektinformationen¹:

Das Forschungspraktikum enthält Aspekte unterschiedlicher Bereiche der Biologie.

Ein Teilbereich der beleuchtet werden muss, ist die Entomologie. Die Entomologie beschäftigt sich mit der wissenschaftlichen Analyse von Insekten. Von besonderer Interesse sind dabei Themenbereiche wie die Morphologie, Physiologie aber auch die Taxonomie von Insekten.

Insekten sind die artenreichste Gruppe des Tierreiches. Deshalb spielen sie eine sehr entscheidende Rolle in unserem wunderbaren Ökosystem. Insekten sind auf jedem Kontinent anzutreffen. Einige Arten sind sogar in der Antarktis heimisch. Dabei besitzen sie eine atemberaubende Vielfalt. Beispielsweise leben einige Insekten als Bestäuber währenddessen andere parasitär leben.

Entomologen greifen dabei auf unterschiedliche Untersuchungsmethoden zurück. Darunter befinden sich normale Feldstudien aber auch moderne analytische Verfahren, wie bildgebende Verfahren. Ein Entomologe arbeitet oft mit der 3D-Messmikroskopie, der Rasterelektronenmikroskopie oder der μ -Computertomographie.

Des Weiteren muss die Biomechanik beleuchtet werden. Die Biomechanik beschreibt die Anwendung von mechanischen Methoden auf biologische Systeme und Prozesse. Ein Anwendungsbeispiel, was gleichzeitig mit meinem Projekt verknüpft ist, wäre die Haftungskraft von Stabschrecken mithilfe eines Kraftmessers zu bestimmen. Das Ziel der Forschung in der Biomechanik ist es, die Funktionsweise von bestimmten Organen etc. und ihre Anpassungsfähigkeit zu analysieren und Rückschlüsse für eine bionische Nutzung zu ziehen.

Des Weiteren müssen grundlegende Informationen zu Stabschrecken und den zu untersuchenden Arten geklärt werden.

Stabschrecken (Phasmiden) sind eine Insektenordnung mit etwa 3500 bekannten Arten weltweit. Dabei zeichnen sie sich durch ihre Mimik aus. Sie imitieren pflanzliches Material, um sich vor Räubern zu verstecken/ zu schützen. Dafür besitzen Stabschrecken einen langgestreckten Körper und können je nach Art unterschiedlichen Farben und Formen, je nach Mimik, annehmen. Stabschrecken findet man überwiegend in tropischen und subtropischen Regionen. Sie ernähren sich herbivor. Aufgrund ihrer Morphologie sind die Stabschrecken beliebte Forschungstiere.¹

Weiterhin müssen die Arten systematisch eingeordnet werden und beschrieben werden.

Orthomeria kangi:

Systematisch betrachtet gehört *Orthomeria kangi* zu den Hexapoda, der Klasse Insecta, der Ordnung der Phasmatodea, der Familie der Aschiphasmatoidea und der Gattung *Orthomeria*.³

Orthomeria kangi ist eine relativ unerforschte Stabschreckenart aus den Philippinen.

„*A new stick insect of the genus Orthomeria Kirby, 1904 (Phasmatodea, Aschiphasmataceae) is described from the Philippines. Orthomeria (Orthomeria) kangi sp. n. is readily distinguished from all other congeners by the distinctive blood red colouration of the costal region of the hind wings.*“²

(*deu*: Eine neue Stabschreckenart aus der Gattung *Orthomeria* Kirby, 1904 (Phasmatodea, Aschiphasmataceae) wird von den Philippinen beschrieben. *Orthomeria (Orthomeria) kangi* sp. n. unterscheidet sich deutlich von allen anderen Arten durch die charakteristische blutrote Färbung der Costalregion der Hinterflügel.)

In dieser Publikation sind auch wichtige Informationen zu den Tarsen der *Orthomeria kangi* abgebildet, die im Anhang beigelegt sind (Abb. II.1.). Des Weiteren ist ein Bild von *Orthomeria kangi* beigelegt (Abb. II.2.).

Malacomorpha cyllarus:

Systematisch betrachtet gehört *Malacomorpha cyllarus* zu den Insekten, der Ordnung

der Phasmatodea, der Familie der Pseudophasmatidae und der Gattung *Malacomorpha*.⁴

Diese beiden Arten werden untersucht, da *Malacomorpha cyllarus* und *Orthomeria kangi* sehr ähnliche Körperdimensionen und Haftpolster besitzen. Allerdings unterscheiden sich die beiden Arten in ihrer taxonomischen Einteilung und ihrer Krallenform. *Orthomeria kangi* ist für eine außergewöhnliche Krallenform bekannt.

Im Anhang ist ebenfalls ein eigenes Bild angefügt (Abb. II.3.).

III. Material und Methoden:

Als erstes wurden die Tarsen seziert, damit diese untersucht werden können.

Die Tarsen wurden anschließend mit einem 3D Messmikroskop (Keyence VR-3000; Keyence Corporation of America, Illinois America) mikroskopiert. Dabei wurden 3D-Modelle erstellt, die ausgemessen werden können. Relevante Werte sind der „Hauptkrallendurchmesser“ (bei *Orthomeria kangi* gibt es mehrere Spitzen) der Krallenaußenradius und der Kralleninnenradius. Bei *Orthomeria kangi* wurden die weiteren Spitzen ebenfalls ausgemessen und der Abstand zwischen den einzelnen Krallenspitzen bestimmt.

Diese Daten wurden statistisch ausgewertet, sodass Korrelationen erkannt werden können.

Insgesamt wurden 15 Diagramme erstellt, um Abhängigkeiten zu erkennen.

Anschließend wurden die Proben für die Rasterelektronenmikroskopie (REM) (Hitachi TM3000 Tabletop Microscope; Hitachi High Tech Corporation, Tokyo Japan) vorbereitet. Dafür mussten die Proben luftgetrocknet und gesputtert werden.

Es wurden Aufnahmen der Tarsen angefertigt, die unterschiedliche Vergrößerungen haben. Dabei wurde darauf geachtet, dass die unterschiedlichen Tarsen bei gleicher Vergrößerung betrachtet werden, damit die entstandenen Aufnahmen verglichen werden können.

Es wurden pro Tarsus in etwa fünf Bilder angefertigt. Bei sechs Beinen und zwei zu untersuchenden Arten ergab sich daraus eine Summe aus ca. 60 Bildern. Diese wurden alle ausgewertet und es wurde nach Korrelationen gesucht.

Des Weiteren wurden weitere Experimente durchgeführt, um das Haftungsverhalten zu untersuchen.

Dafür wurden lebende Stabschrecken benutzt. Es wurden sowohl Männchen als auch Weibchen untersucht. Als erstes wurde ein Faden mithilfe von Wachs auf der Rückseite

eines Tieres befestigt. Danach wurde das andere Ende des Fadens an einen Kraftmesser gebunden. Es wurde mit dem BIOPAC System (BIOPAC Systems In., Kalifornien USA) gearbeitet. Nachdem eine Kalibrierung durchgeführt wurde, wurden verschiedene Platten mit maschinell gefertigten Rauheiten (0 μm ; 1 μm ; 12 μm ; 40 μm ; 120 μm ; 400 μm), aus dem gleichen Material, für den Versuch, genutzt. Dabei wurden neun Männchen und neun Weibchen untersucht. Die Stabschrecken zogen von alleine an dem Faden, was dazu führte, dass der Kraftmesser einen Ausschlag vermerkte. Die aufgenommenen Daten wurden anschließend ausgewertet. Im Anhang ist der Versuchsaufbau mithilfe eines Bildes dargestellt (Abb .III.1.).

IV. Versuchsergebnisse

Im weiteren Verlauf steht M für Männchen und F für Weibchen.

Nachfolgend sind zwei Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen der beiden Arten zu sehen, damit die grundlegende Morphologie verstanden werden kann.

IV.1. Rasterelektronenmikroskop Aufnahme Kralle *Orthomeria kang*

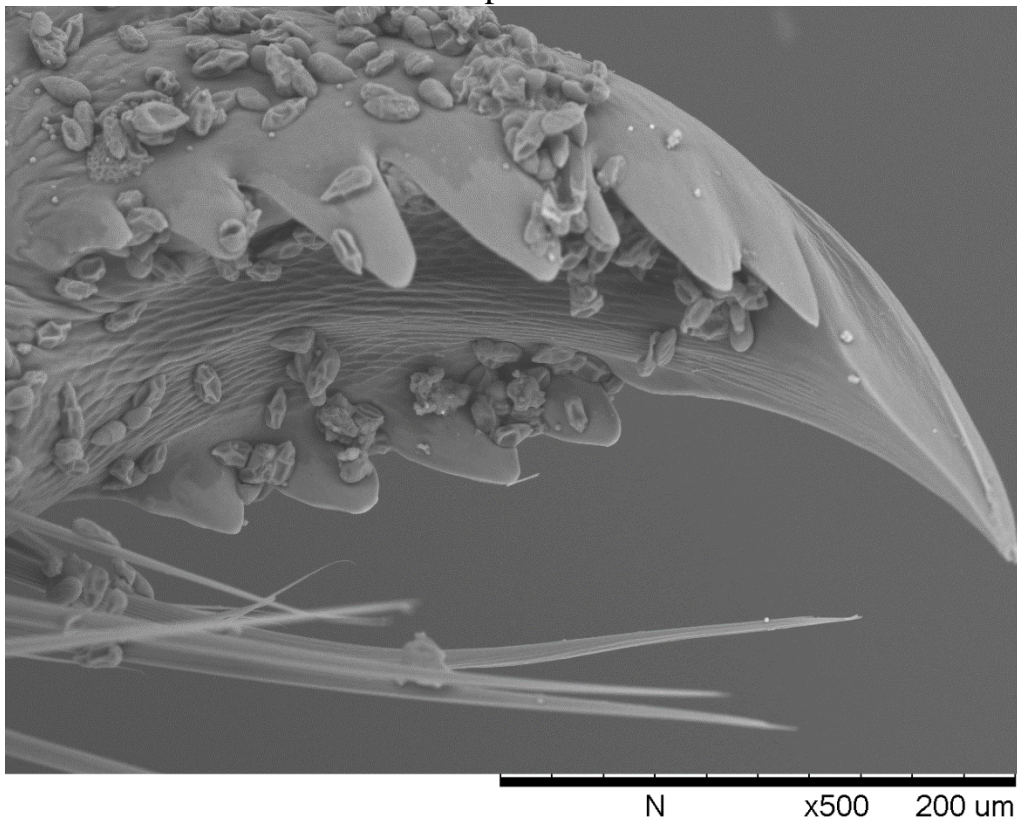


Abb. IV.1.: Rasterelektronenmikroskop Aufnahme einer *Orthomeria kang* Kralle – eigene Aufnahme

IV.2. Rasterelektronenmikroskop Aufnahme einer *Malacomorpha cyllarus* Kralle

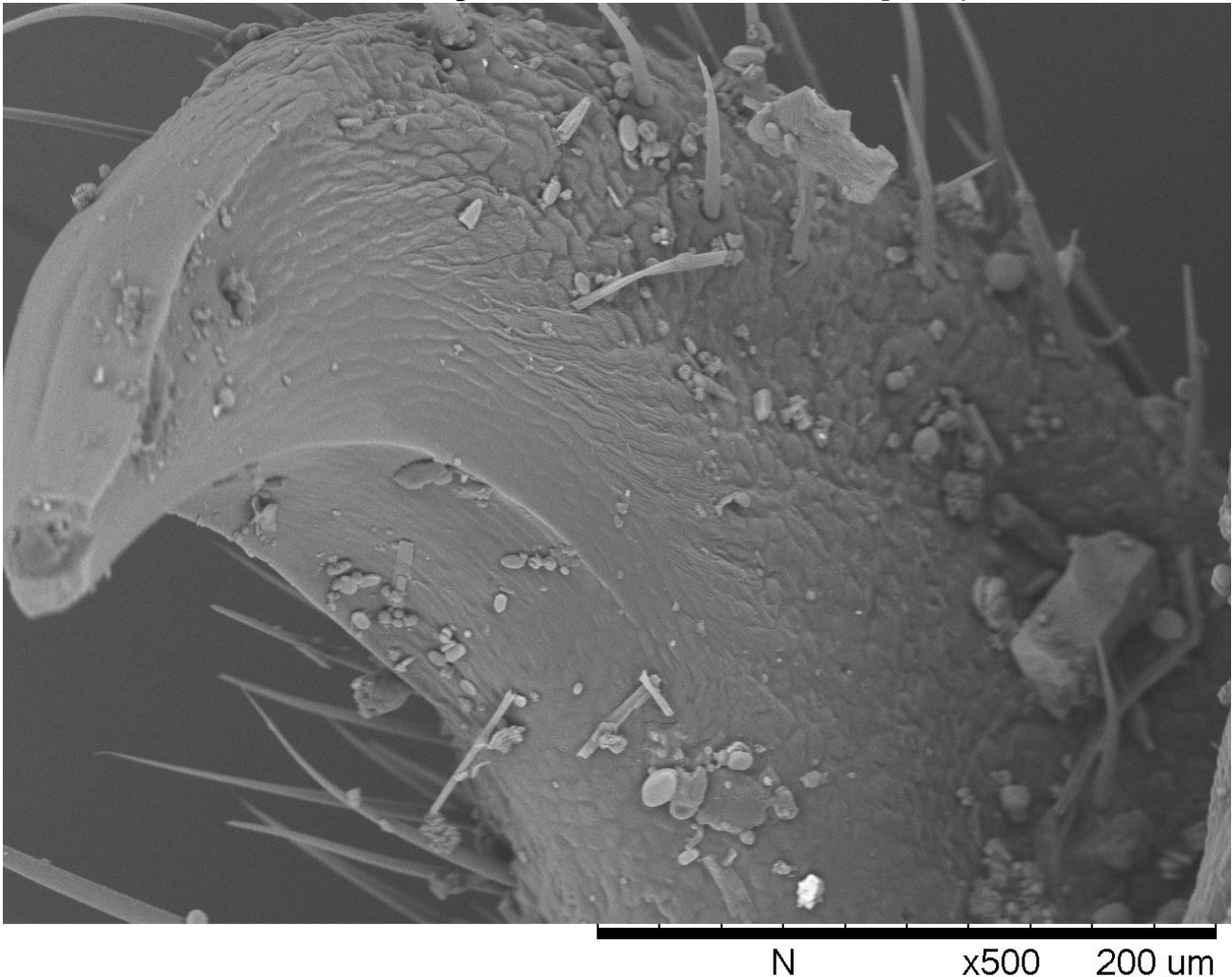


Abb. IV.2.: Rasterelektronenmikroskop Aufnahme einer *Malacomorpha cyllarus* Kralle – eigene Aufnahme

Beide Aufnahmen sind bei der gleichen Vergrößerung aufgenommen worden. Während die *Orthomeria kangi* Kralle weitere „Spitzen/Nebenkrallen“ besitzt, ist bei *Malacomorpha cyllarus* lediglich eine große Kralle, die vorne einen breiteren Krallenradius hat, zu finden.

Der Fokus liegt im weiteren Verlauf auf der Art *Malacomorpha cyllarus*, um den Einfluss der Morphologie der Krallenspitze optimal zu untersuchen. Dabei wurde sich auf die Art *Malacomorpha cyllarus* beschränkt, da diese Krallen besitzen, die einfach gezähnt sind und somit ein gleichzeitiger Einfluss mehrerer Parameter der gezähnten Krallenspitzen von *Orthomeria kangi* (siehe REM Bild, Abb. IV.1.) vermieden wird.

Des Weiteren wird hier gezeigt, wie die Krallen ausgemessen wurden. Ein Beispiel ist ebenfalls nachfolgend dargestellt.

IV.3. Vermessung

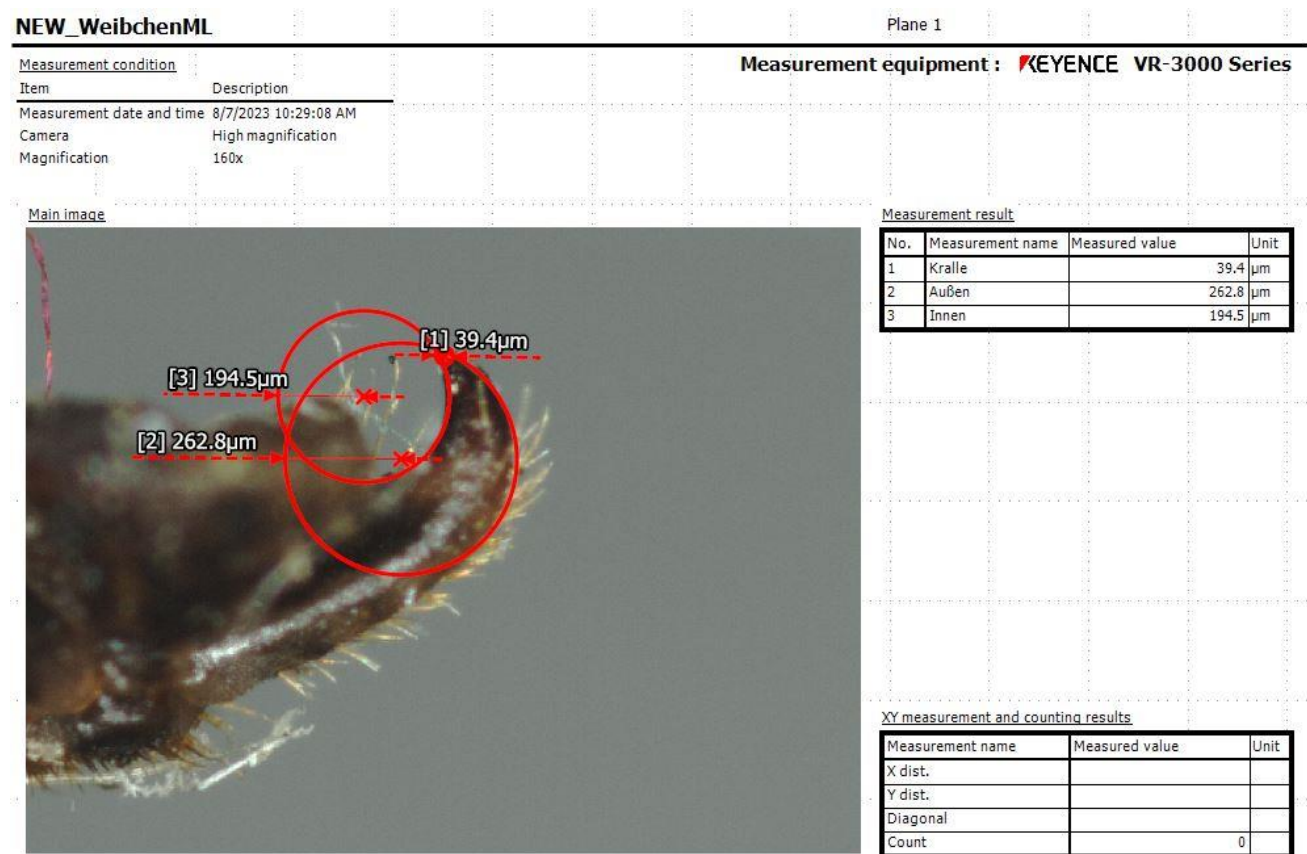


Abb IV.3.: Vermessung der Krallen – eigene Aufnahme

Nachfolgend sind die Messwerte dargestellt:

IV.4. Messwerte der Vermessung

Männchen		
Durchschnitt Kralle		28,75
Durchschnitt Innenradius		183,3
Durchschnitt Außenradius		261,35
Weibchen		
Durchschnitt Kralle		48,8
Durchschnitt Innenradius		196,0333333
Durchschnitt Außenradius		289,2166667

Abb. IV.4.: Messwerte der Vermessung

Diese Tabelle zeigt die Durchschnittswerte, der Ausmessung, die später relevant für die Auswertung sind.

Genaue Ergebnisse des Haftungsexperimentes werden nicht genannt. Allerdings werden die Beobachtungen kommuniziert.

Weibchen sind deutlich größer und deutlich schwerer als Männchen.

Deshalb wurde ein Faktor eingeführt, der vergleichbarere Werte hervorbringen soll.

$$SF = F_{\text{exp.}} / F_g$$

Damit entspricht SF dem sogenannten **safety-factor** (Sicherheitsfaktor).

Dabei wurde ein Boxplot erstellt, welches die Daten zusammenfasst.

IV.5.: Boxplot zum Vergleich von Männchen und Weibchen

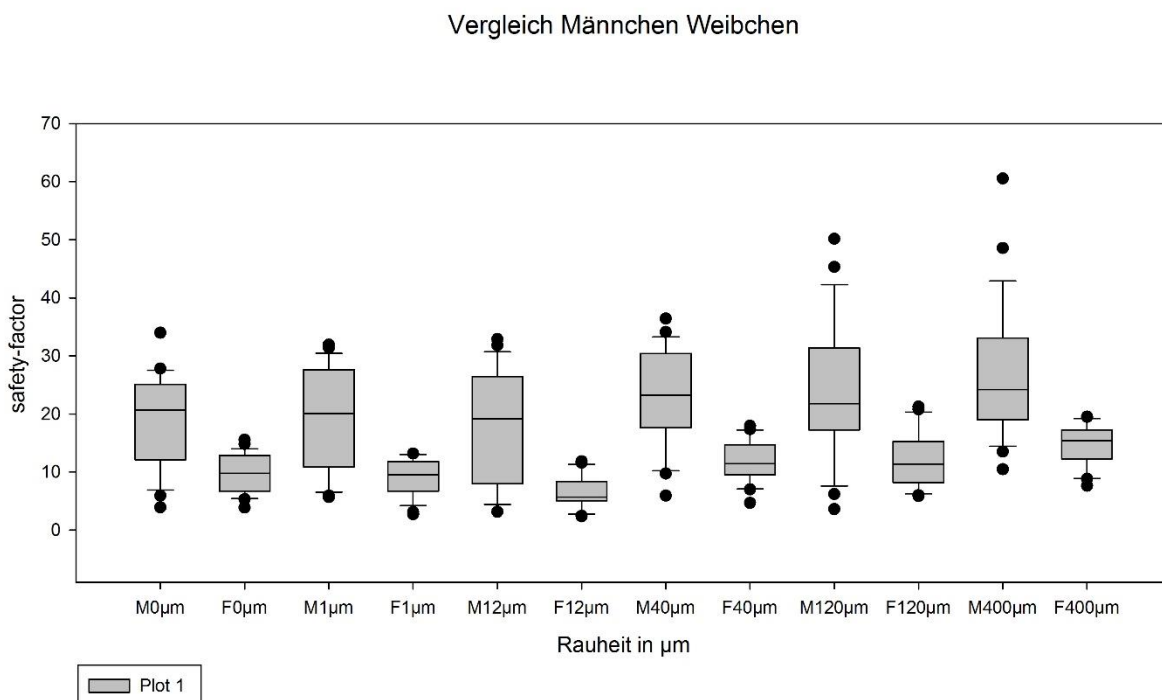


Abb IV.5.: Boxplot Vergleich zwischen Männchen (M) und Weibchen (F) auf verschiedenen rauen Untergründen

Auch wenn die Weibchen deutlich stärker am Faden zogen, wenden sie auf ihr Körpergewicht berechnet, weniger Kraft auf. Dies ist im Boxplot ersichtlich. Des Weiteren ist erkennbar, bei welchen Rauheiten die Stabschrecken am besten haften können.

Nachfolgend ist eine Reihenfolge dargestellt, die darlegt, bei welchen Rauheiten die Stabschrecken am besten Haften konnten.

Weibchen:

1. 400 μm
2. 120 μm
3. 40 μm
4. 0 μm
5. 1 μm
6. 12 μm

Männchen:

1. 400 μm
2. 120 μm
3. 40 μm
4. 0 μm
5. 1 μm
6. 12 μm

Im Anhang ist eine Tabelle angefügt, die bestimmt, ob zwischen den jeweiligen Werten eine signifikante Abweichung besteht. Es wurde ein posthoc-Test nach signifikanter ANOVA durchgeführt.

Dafür wurde das Programm SigmaPlot benutzt.

Des Weiteren wurden t-tests durchgeführt, um herauszufinden, ob zwischen Männchen und Weibchen bei den einzelnen Rauheiten ein signifikanter Unterschied besteht.

IV.9.: Ergebnisse t-test

Männchen	Weibchen	p-Wert	signifikanter Unterschied
M0	F0	<0,001	Ja
M1	F1	<0,001	Ja
M12	F12	<0,001	Ja
M40	F40	<0,001	Ja
M120	F120	<0,001	Ja
M400	F400	<0,001	Ja

Abb. IV.9.: Ergebnisse des t-tests für die einzelnen Rauheiten

Die genauen Messwerte wurden in einer Excel-Tabelle aufgenommen und werden nicht angehängt.

V. Diskussion

Für die Haftungsexperimente standen nur *Malacomorpha cyllarus* zur Verfügung, weshalb der Unterschied zwischen Männchen und Weibchen untersucht werden konnte. Dieser war signifikant. Männchen haften, unter Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors (safety-factor), deutlich besser als Weibchen.

Die Haftung bei Stabschrecken erfolgt mithilfe von zwei Techniken. Es gibt die Haftpolster, welche vor allem auf glatten Oberflächen gut haften, da sie eine relativ große Oberfläche benötigen. Umso rauer die Oberfläche ist, desto weniger Oberfläche steht zum Haften zur Verfügung. Dementsprechend nimmt die Haftungskraft der Haftpolster bei steigender Rauheit ab. Allerdings besitzen die Stabschrecken auch Krallen an ihren Tarsen mit denen sie sich festhalten können. Die Haftungskraft der Krallen nimmt allgemein betrachtet mit steigender Rauheit zu, da sie sich dadurch besser im Boden verhaken können. Auf einer glatten Oberfläche bringen Krallen wenig. Das richtige Zusammenspiel dieser beiden Techniken sorgt für eine optimale Haftung.

Im nachfolgenden Bild ist dargestellt, dass die Haftung durch die Krallen auch bei zu großer Rauheit kleiner werden kann, da die Kralle sich dann nicht mehr einhaken kann.⁵ Dies ist in hier Bild dargestellt:

V.1.: Zusammenhang Kralle und Rauheit



Figure 1. Comparison of different scales of biological devices and natural substrates. (A) Surfaces (plants) at different magnifications. The circles and arrows indicate detail views and the color bars indicate possible scale ranges. (B) Insect (leaf beetle) with attachment pads and claws at different magnifications. (C) Sketch of interactions between insects' claw and substrate protrusions, where, h is the size of the claws, R is the mean radius of substrate protrusions and r_{tip} is the radius of claw tips.

(Beschriftung aus der Publikation) (Bild ist bearbeitet/geschnitten)

Abb. V.1.: Veranschaulichung: Abhängigkeit Rauheit und Kralle⁵

Um die maximale Haftung zu erreichen, muss die Rauheit zur Kralle optimal passen. Des Weiteren müssen die Haftpolster trotzdem eine „relativ“ große Oberfläche besitzen. Dieser Zusammenhang ist im nachfolgenden Bild (V.2.) dargestellt.

Die Haftungskraft der Kralle ist bei glatten und zu rauen Oberflächen gering, währenddessen die Haftungskraft der Haftpolster bei glatten und rauen Oberflächen hoch ist und dazwischen gering ist. Eine optimale Rauheit wird vor allem durch die optimale Rauheit der Kralle bestimmt, die den größten Einfluss auf die maximale Haftungskraft hat.

V.2.: Zusammenhang Kralle und Haftpolstern

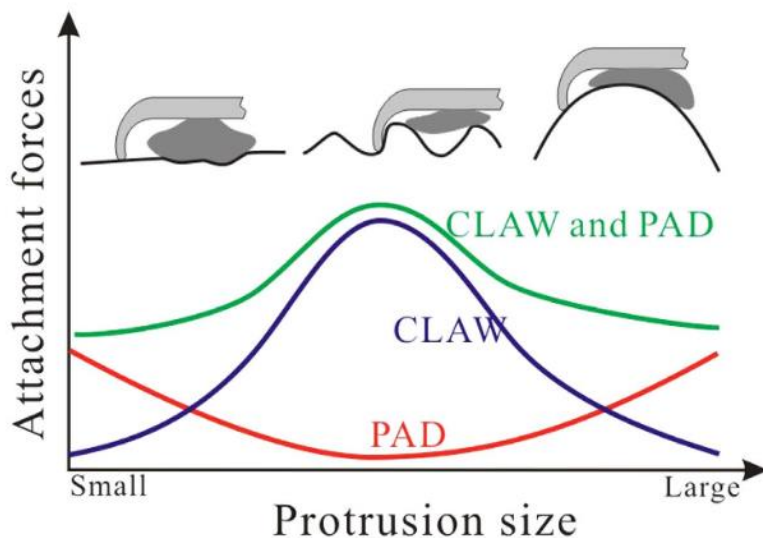


Figure 6. Diagram explaining the effects of protrusion size on the attachment abilities of insect claw and adhesive pad.

(Beschriftung aus der Publikation)

Abb. V.2.: Zusammenspiel von Haftpolstern und Kralle⁵

Werden die Daten der Ausmessungen ausgewertet, ist auffällig, dass der Kralleninnenradius und Krallenaußenradius bei Männchen und Weibchen ungefähr gleich ist. Dies erklärt, warum sowohl Männchen als auch Weibchen ihre maximale Haftungskraft bei den gleichen Rauheiten erzeugen können (Die Reihenfolge der Rauheiten bei Männchen und Weibchen ist gleich). Der Kralleninnenradius und Krallenaußenradius ist formgebend für die Kralle und beeinflusst sowohl die Höhe als auch die Länge der Kralle. Dementsprechend weisen ungefähr gleiche Werte auf eine ähnliche Krallenform hin. Damit wird geschlussfolgert, dass sich auch ihre optimale Rauheit ähnelt.

Des Weiteren muss erklärt werden, warum die Reihenfolge nicht von der größten Rauheit absteigend verläuft (400 μm ; 120 μm ; 40 μm ; 12 μm ; 1 μm ; 0 μm).

Dieses Phänomen kann mithilfe des Diagramms Abb. V.2. erklärt werden. Betrachtet wird die rote und blaue Kurve. Durch die steigende Rauheit bei 1 μm und 12 μm verliert das Haftpolster an Oberfläche, an der es haften kann. Wie in der roten Kurve ersichtlich, sinkt deshalb die Haftkraft.

Laut der blauen Kurve müsste die Kralle durch die steigende Rauheit nun in der Lage sein, sich in die Erhebungen (Rauheit) einzuhaken. Dementsprechend müsste die allgemeine Haftkraft steigen (grüne Kurve). Dabei wird allerdings ein Faktor vernachlässigt. Der Krallenspitzendurchmesser beträgt bei den Männchen im

Durchschnitt 28,75 μm und bei den Weibchen 48,8 μm . Die Krallenspitze ist somit viel zu groß, um sich einzuhaken. Demzufolge ist die Kralle nutzlos und lediglich die Oberfläche der Haftpolster wird verringert, was zu dem beobachteten Abfall der Haftungskraft führt, trotz steigender Rauheit. Das Phänomen der Reihenfolge „0 μm ; 1 μm ; 12 μm “ wurde somit erklärt.

Die optimale Rauheit kann anhand von meinen Werten nicht bestimmt werden, da die Haftkraft weiter steigt. Es ist annehmbar, dass die optimale Rauheit für die optimale Haftkraft nicht zwischen 40 μm und 400 μm liegt, da sonst ein Abfall zu verzeichnen wäre. Es gilt also diesen Versuch weiter zu führen, bis die optimale Rauheit gefunden ist.

Der Anstieg der Haftungskraft von 40 μm zu 400 μm kann nun mit der grünen Kurve aus dem Diagramm Abb 11. erklärt werden, da die Kralle ab diesem Zeitpunkt sich auch einhaken kann, da der Wert der Rauheit größer als der Krallendurchmesser ist. Dabei gibt es eine Ausnahme. Bei der Rauheit von 40 μm müsste die Haftkraft der Weibchen deutlich geringer sein im Vergleich zum beobachteten Wert, da der Durchmesser der Krallenspitze 48,8 μm beträgt und somit sich die Kralle nicht einhaken kann. Dabei muss aber beachtet werden, dass es sich um einen Durchschnittswert handelt. Es gibt Krallen die einen Krallenspitzendurchmesser von unter 40 μm haben und sich damit einhaken können. Somit bestätigt die Ausnahme die Regel, dass Krallen einen sehr großen Einfluss haben und dabei auch weniger als zwölf Krallen (da sechs Tarsen pro Stabschrecke) ausreichen, um die Haftkraft signifikant (signifikanter Unterschied zwischen 12 μm und 40 μm) zu verändern.

Die Tabellen im Anhang zeigen, wo es signifikante Unterschiede gibt.

Es zeigt sich, dass sich die Rauheit 400 μm deutlich von anderen Rauheiten (Ausnahme: 120 μm bei Weibchen und 40 μm ; 120 μm bei Männchen) unterscheidet (signifikanter Unterschied). Damit wird deutlich, dass eine Rauheitserhöhung zu einer deutlich höheren Haftkraft führt. Allerdings wird vermutet, dass die optimale Rauheit bald erreicht ist, da die Unterschiede zunehmend geringer werden. Der Unterschied von 400 μm zu 120 μm ist sowohl bei Männchen als auch Weibchen nicht mehr signifikant. Deshalb müssen weitere Versuche durchgeführt werden, um diese Hypothese zu bestätigen.

Des Weiteren bestehen signifikante Unterschiede zwischen Männchen und Weibchen. Dies ist zum einen am Boxplot und zum anderem an der Tabelle (IV.8.) im Anhang ersichtlich. Es gibt nur vereinzelt keinen signifikanten Unterschied (Bsp: M12-F40) im Vergleich zwischen Männchen und Weibchen. Dabei wird aber eine unterschiedliche Rauheit betrachtet. Somit sind die Werte nicht vergleichbar. Bei M0 – F0; M1-F1... besteht immer ein signifikanter Unterschied.

Männchen haften mit Einberechnung des „safety-factors“ deutlich besser als Weibchen, sodass signifikante Unterschiede entstehen.

Abschließend betrachtet ist ersichtlich, dass die unterschiedliche Rauheit einer Oberfläche das Haftungsvermögen einer Stabschrecke maßgebend beeinflusst. Dies liegt an den unterschiedlichen Haftungsorganen der Stabschrecken. Sie haften aufgrund ihrer Haftpolster an glatten Oberflächen und aufgrund ihrer Krallen an rauen Oberflächen. Es gibt einen Punkt, ab dem eine steigende Rauheit unvorteilhaft wird. Die optimale Rauheit beschreibt den Punkt, an dem die Haftungskraft am größten ist. Dieser Punkt wird durch ein Zusammenspiel von Haftpolstern und Krallen erreicht und konnte in meinem Versuch nicht genau bestimmt werden. Allerdings konnte nachgewiesen werden, dass eine steigende Rauheit nicht zwingend eine Erhöhung der Haftungskraft bedeutet.

Allgemein gilt, dass Männchen mit Einberechnung des „safety-factors“ besser haften als Weibchen.

Weiterführende Forschungen:

Es muss untersucht werden, ab wann die Haftungskraft wieder abnimmt. Damit kann die optimale Rauheit bestimmt werden. Mit diesem Wissen und der absoluten Größe der Krallen und der Haftpolster können so beispielsweise Handschuhe entwickelt werden, die an Oberflächen haften. Stabschrecken sind in der Lage an der Wand und an der Decke zu laufen. Mithilfe dieser Erkenntnisse könnten Menschen dies mit entsprechenden Hilfsmitteln ebenfalls. Eine bionische Nutzung der Daten ist keineswegs ausgeschlossen.

Weiterhin könnten dafür Versuche durchgeführt werden, die die Größe der Haftpolster beschreiben und eine eventuelle Abhängigkeit zwischen Größe des Haftpolsters und der Haftung darstellen.

Des Weiteren könnten auch die Stabschrecken der Art *Orthomeria kangi* untersucht werden, die eine sehr spezielle Morphologie der Krallen besitzen. Danach könnten Rückschlüsse gezogen werden, welche Krallenform vorteilhaft ist.

Diese Erkenntnisse können dann ebenfalls biomechanisch/bionisch genutzt werden.

VI. Fazit/Rückblick

Insgesamt hat mir das Praktikum sehr viel Freude bereitet. In meiner Zeit in Kiel habe ich wirklich sehr viel gelernt und mein Wissen erweitern. Es war eine unglaubliche Gelegenheit. Eine wirkliche besondere Erfahrung war die Arbeit mit extrem teuren und modernen Geräten, wie dem Rasterelektronenmikroskop (REM) oder der 3D-Messmikroskopie. Diese Möglichkeit werde ich so schnell nicht wiederhaben.

Die Arbeitsgruppe Gorb, in der ich mein Praktikum durchführte, fand ich sehr gut. Die Arbeitsatmosphäre war angenehm und alle Teammitglieder waren äußerst freundlich und auch sehr hilfsbereit. Jeder erklärte mir begeistert von seinem Forschungsthema. Dadurch erlangte ich Einblicke in die aktuelle Forschung und den täglichen Ablauf eines Forschenden. Die Offenheit und Bereitschaft ihr Wissen zu teilen hat mich sehr fasziniert und meine Begeisterung für die Forschung weiter gestärkt.

Die begleitenden Vorlesungen von Dr. Thiess Büscher und Anika Preuss waren ebenfalls sehr spannend und sehr lehrreich. Durch diese Vorlesungen konnte ich viel Neues über die Welt der Insekten lernen, was mich sehr freute.

Das Praktikum hat mir auch sehr bei meiner Berufswahl geholfen, da ich erste Einblicke in die Forschung bekommen habe. Ich möchte später auch in die Forschung gehen.

Abschließend betrachtet empfand ich das Praktikum als eine wirklich sehr gelungene Erfahrung. Sie wird mir im Leben und vor allem im Berufsleben sehr weiterhelfen. Das Praktikum hat mir die Möglichkeit gegeben etwas völlig Neues kennenzulernen und hat meinen Enthusiasmus für die Forschung auf jeden Fall gesteigert.

Ich bin sehr dankbar für diese wundervolle Zeit und würde es jederzeit wiederholen!

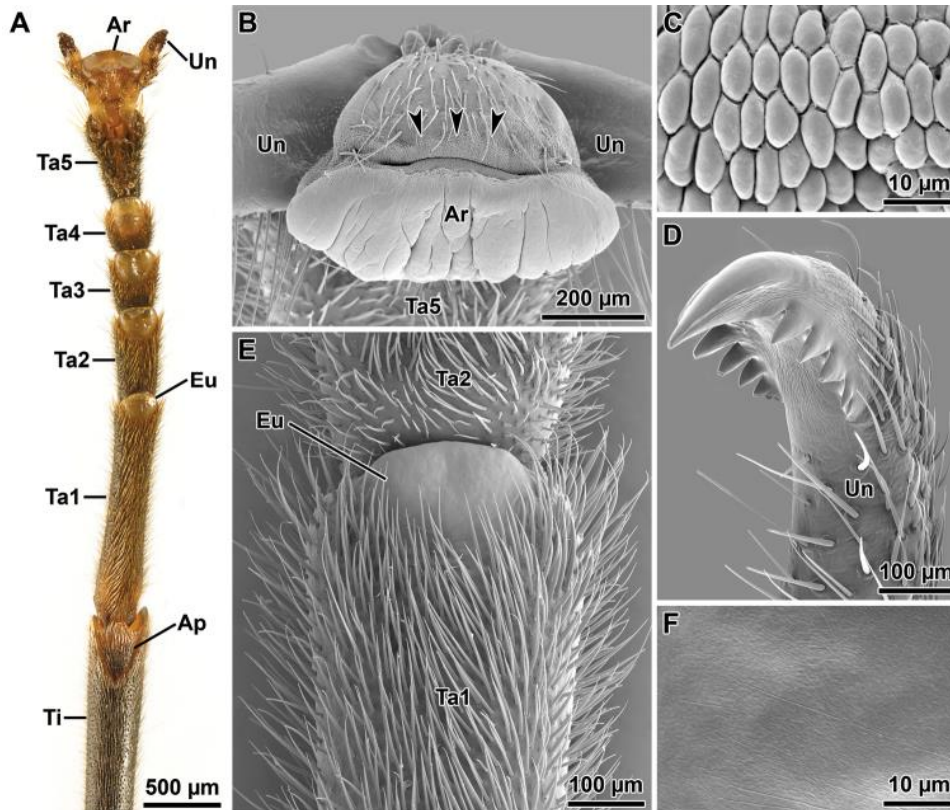
Ich möchte mich bei meinem Betreuer Dr. Büscher und der Arbeitsgruppe Gorb für drei spannende Wochen bedanken.

VII: Literaturverzeichnis

- 1: Vorlesungen von Dr. Thies Büscher und Anika Preuss: Biologie der Insekten
- 2: Davide Valotto, Joachim Bresseel, Thierry Heitzmann and Marco Gottardo;
A black-and-red stick insect from the Philippines – observations on the external anatomy and natural history of a new species of *Orthomeria* ,
Published online 2016 Feb 3., verfügbar unter: [10.3897/zookeys.559.6281](https://doi.org/10.3897/zookeys.559.6281)
- 3: Taxonomische Daten von Wikipedia:
https://ceb.wikipedia.org/wiki/Orthomeria_kangi [14:30, 09.08.2023]
- 4: Taxonomische Daten von Wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Malacomorpha> [14:35, 09.08.2023]
- 5: Yi Song, Zhendong Dai, Zhouyi Wang, Aihong J & Stanislav N Gorb;
The synergy between the insect- inspired claws and adhesive pads increases the attachment ability on various rough surfaces,
Published: 20 May 2016, verfügbar unter:
<https://www.nature.com/articles/srep26219>

VIII. Anhang

II.1. Aufbau der Tarse²:



Orthomeria (Orthomeria) kangi sp. n. tarsal and pretarsal attachment devices **A** Fore tarsus, ventral view **B** Arolium, frontal view, arrowheads indicate the outer band **C** Arolium's micropattern at the outer band level **D** Pretarsal claw, lateral view **E** Tarsal euplantula, ventral view **F** Euplantula's micropattern; Ap , area apicalis; Ar , arolium; Eu , euplantula; Ta1-Ta5 , tarsomeres 1-5; Ti , tibia; Un , peritarsal claws.

Abb. II.1.: aus David Valetto et. al. 2016: [10.3897/zookeys.559.6281](https://doi.org/10.3897/zookeys.559.6281)

II. 2. *Orthomeria kangi*

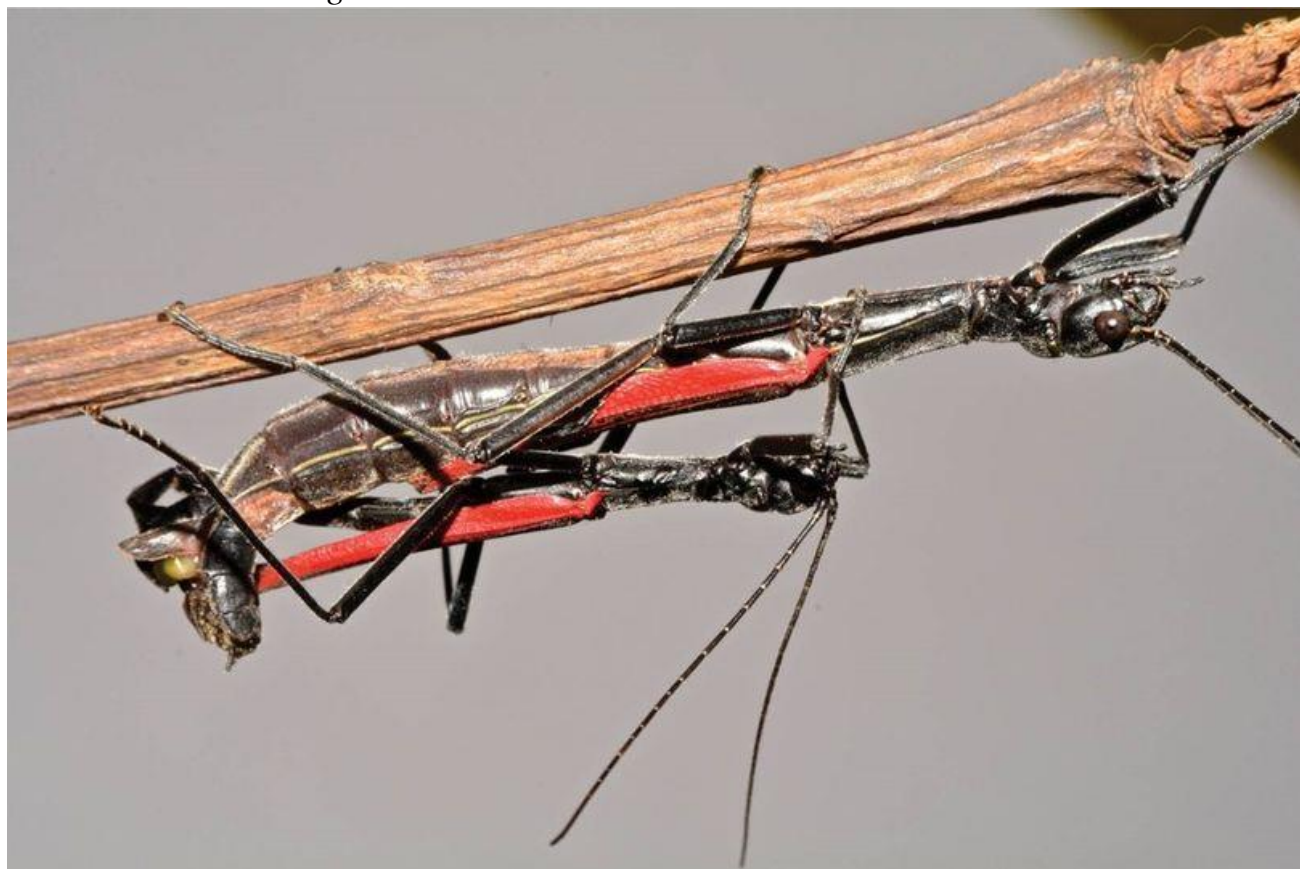


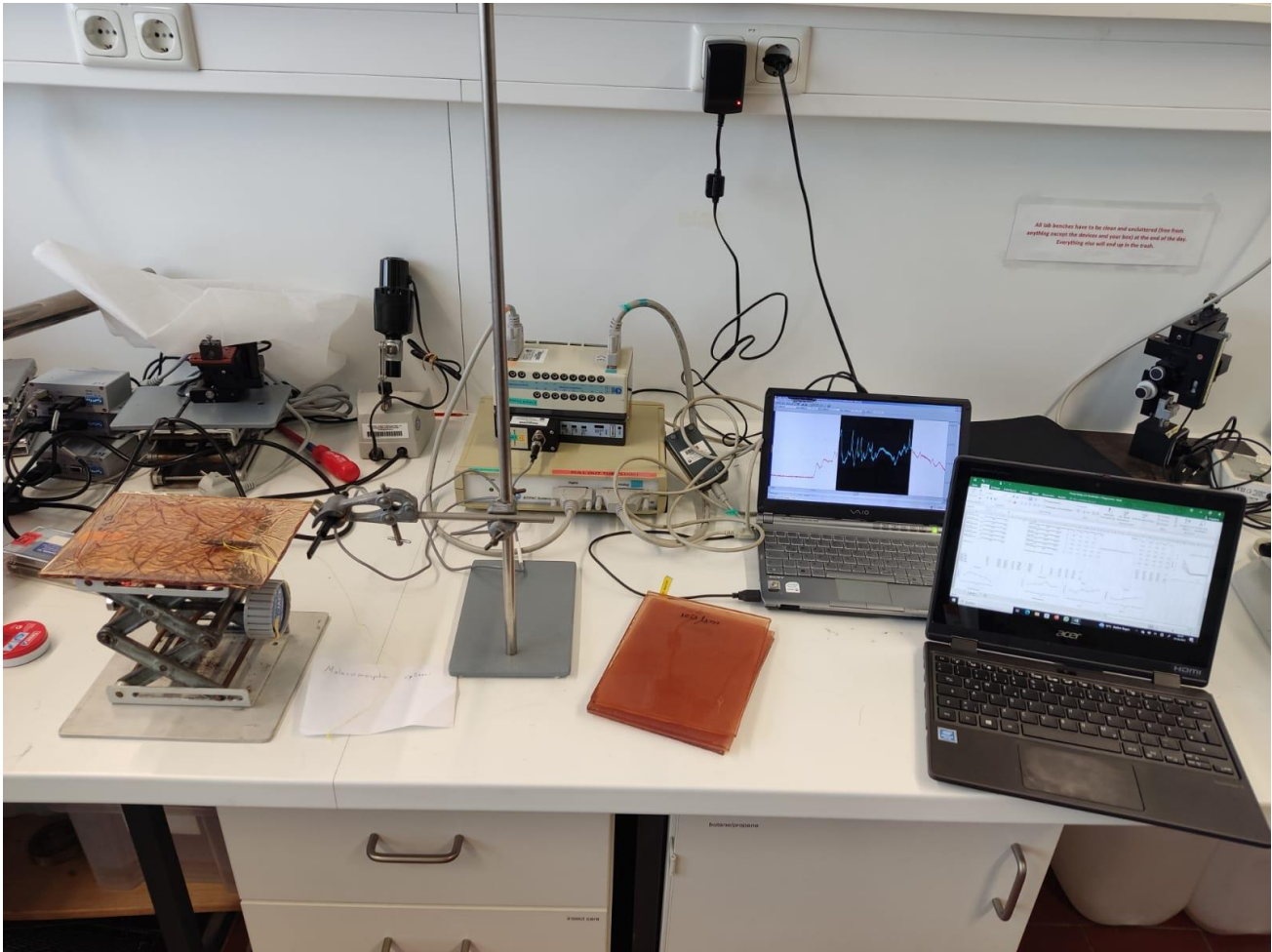
Abb. II.2.: David Valotto et. al. 2016: [10.3897/zookeys.559.6281](https://doi.org/10.3897/zookeys.559.6281)

II. 3. *Malacomorpha cyllarus*:



Abb. II.3.: eigene Aufnahme

III. 1. Aufbau:



Von links nach rechts Untergründe mit unterschiedlichen Rauheiten; Stabschrecke; Stativ mit Kraftmesser (über Faden mit Stabschrecke verbunden); BIOPAC-System; Software mit Kraftausschlag; eigener Laptop

Abb. III.1.: eigene Aufnahme

IV.6;7;8 Tabellen zur Bestimmung, ob signifikante Unterschiede vorliegen

Yes: signifikanter Unterschied No: kein signifikanter Unterschied

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means		p	q	P	P<0,050
F400 vs. F12	8,259	6	11,516	<0,001	Yes	
F400 vs. F1	5,636	6	7,859	<0,001	Yes	
F400 vs. F0	4,991	6	6,959	<0,001	Yes	
F400 vs. F40	3,106	6	4,331	0,027	Yes	
F400 vs. F120	2,879	6	4,014	0,052	No	
F120 vs. F12	5,380	6	7,501	<0,001	Yes	
F120 vs. F1	2,757	6	3,845	0,072	No	
F120 vs. F0	2,112	6	2,944	0,297	No	
F120 vs. F40	0,227	6	0,316	1,000	No	
F40 vs. F12	5,153	6	7,185	<0,001	Yes	
F40 vs. F1	2,530	6	3,528	0,126	No	
F40 vs. F0	1,885	6	2,628	0,428	No	
F0 vs. F12	3,268	6	4,557	0,016	Yes	
F0 vs. F1	0,646	6	0,900	0,988	No	
F1 vs. F12	2,623	6	3,657	0,101	No	

IV.6: posthoc-Test nach signifikanter ANOVA für Weibchen

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means		p	q	P	P<0,050
M400 vs. M12	8,353	6	4,465	0,020	Yes	
M400 vs. M1	7,873	6	4,208	0,035	Yes	
M400 vs. M0	7,734	6	4,134	0,041	Yes	
M400 vs. M40	3,983	6	2,129	0,661	No	
M400 vs. M120	2,777	6	1,484	0,901	No	
M120 vs. M12	5,576	6	2,980	0,283	No	
M120 vs. M1	5,096	6	2,724	0,386	No	
M120 vs. M0	4,957	6	2,650	0,418	No	
M120 vs. M40	1,206	6	0,645	0,998	No	
M40 vs. M12	4,370	6	2,336	0,564	No	
M40 vs. M1	3,890	6	2,079	0,683	No	
M40 vs. M0	3,751	6	2,005	0,716	No	
M0 vs. M12	0,618	6	0,331	1,000	No	
M0 vs. M1	0,138	6	0,0740	1,000	No	
M1 vs. M12	0,480	6	0,257	1,000	No	

Abb. IV.7: posthoc-Test nach signifikanter ANOVA für Männchen

IV.8.:ANOVA-Test Männchen und Weibchen verknüpft

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Dunn's Method) :

Comparison	Diff of Ranks	Q	P<0,05
M400 vs F12	193,699	7,804	Yes
M400 vs F1	155,345	6,258	Yes
M400 vs F0	147,407	5,939	Yes
M400 vs F40	123,032	4,957	Yes
M400 vs F120	121,512	4,895	Yes
M400 vs F400	84,157	3,390	Yes
M400 vs M12	59,407	2,467	No
M400 vs M1	54,148	2,249	No
M400 vs M0	48,685	2,022	No
M400 vs M120	21,907	0,910	No
M400 vs M40	18,222	0,757	No
M40 vs F12	175,477	7,069	Yes
M40 vs F1	137,123	5,524	Yes
M40 vs F0	129,185	5,204	Yes
M40 vs F40	104,810	4,222	Yes
M40 vs F120	103,289	4,161	Yes
M40 vs F400	65,935	2,656	No
M40 vs M12	41,185	1,710	No
M40 vs M1	35,926	1,492	No
M40 vs M0	30,463	1,265	No
M40 vs M120	3,685	0,153	No
M120 vs F12	171,792	6,921	Yes
M120 vs F1	133,438	5,376	Yes
M120 vs F0	125,500	5,056	Yes
M120 vs F40	101,125	4,074	Yes
M120 vs F120	99,604	4,013	Yes
M120 vs F400	62,250	2,508	No
M120 vs M12	37,500	1,557	No
M120 vs M1	32,241	1,339	No
M120 vs M0	26,778	1,112	No
M0 vs F12	145,014	5,842	Yes
M0 vs F1	106,660	4,297	Yes
M0 vs F0	98,722	3,977	Yes
M0 vs F40	74,347	2,995	No
M0 vs F120	72,826	2,934	No
M0 vs F400	35,472	1,429	No
M0 vs M12	10,722	0,445	No
M0 vs M1	5,463	0,227	No
M1 vs F12	139,551	5,622	Yes
M1 vs F1	101,197	4,077	Yes
M1 vs F0	93,259	3,757	Yes
M1 vs F40	68,884	2,775	No
M1 vs F120	67,363	2,714	No
M1 vs F400	30,009	1,209	No
M1 vs M12	5,259	0,218	No
M12 vs F12	134,292	5,410	Yes
M12 vs F1	95,937	3,865	Yes
M12 vs F0	88,000	3,545	Yes
M12 vs F40	63,625	2,563	No
M12 vs F120	62,104	2,502	No
M12 vs F400	24,750	0,997	No
F400 vs F12	109,542	4,289	Yes
F400 vs F1	71,187	2,787	No
F400 vs F0	63,250	2,476	No
F400 vs F40	38,875	1,522	No
F400 vs F120	37,354	1,462	No
F120 vs F12	72,188	2,826	No
F120 vs F1	33,833	1,325	No
F120 vs F0	25,896	1,014	No
F120 vs F40	1,521	0,0595	No
F40 vs F12	70,667	2,767	No
F40 vs F1	32,313	1,265	No
F40 vs F0	24,375	0,954	No
F0 vs F12	46,292	1,812	No
F0 vs F1	7,938	0,311	No
F1 vs F12	38,354	1,502	No

IV.8.: posthoc-Test nach signifikanter ANOVA Männchen und Weibchen verknüpft
Erstellt mit SigmaPlot